



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ
ИМ. В.А. ТРАПЕЗНИКОВА РАН

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ (ИТММ-2020)

**МАТЕРИАЛЫ
XIX Международной конференции
имени А. Ф. Терпугова
2–5 декабря 2020 г.**



ТОМСК
«Издательство НТЛ»
2021

УДК 519
ББК 22.17
И74

И74 Информационные технологии и математическое моделирование (ИТММ-2020): Материалы XIX Международной конференции имени А. Ф. Терпугова (2–5 декабря 2020 г.). – Томск: Изд-во НТЛ, 2021. – 498 с.

ISBN 978-5-89503-647-1

Сборник содержит избранные материалы XIX Международной конференции имени А. Ф. Терпугова по следующим направлениям: теория массового обслуживания и ее приложения, интеллектуальный анализ данных и визуализация, информационные технологии и программная инженерия, математическое и компьютерное моделирование технологических процессов.

Для специалистов в области информационных технологий и математического моделирования.

УДК 519
ББК 22.17

Редколлегия:

А.А. Назаров, доктор технических наук, профессор,
С.П. Моисеева, доктор физико-математических наук, профессор,
А.Н. Моисеев, доктор физико-математических наук, доцент,
М.П. Фархадов, доктор технических наук, профессор,
Е.Ю. Лисовская, кандидат физико-математических наук.

*Конференция проведена при поддержке
международного научно-методического центра
Томского государственного университета по математике,
информатике и цифровым технологиям в рамках
федерального проекта «Кадры для цифровой экономики»
национальной программы
«Цифровая экономика в Российской Федерации»*

ISBN 978-5-89503-647-1

© Авторы. Текст, 2021
© ООО «Издательство НТЛ».
Оформление. Дизайн, 2021

Исследование двумерного выходящего потока марковской модели узла обработки запросов с повторными обращениями и вызываемыми заявками*

Алексей Благинин, Иван Лапатин, Анатолий Назаров

*Национальный исследовательский
Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

В работе предлагается рассмотреть двумерный выходящий поток системы массового обслуживания [1] с повторными вызовами [2] и вызываемыми заявками [3]. Такую систему можно интерпретировать как узел сети связи со случайным множественным доступом, который в свободное от обработки запросов время может запросить самодиагностику или другую процедуру, которая будет продолжаться случайное время. Также данная система подходит для моделирования узла связи с разными типами заявок. Заявки одного типа не теряются и в любом случае получают обслуживание, а заявки другого типа получают обслуживания только при свободном ресурсе.

Отдельные узлы образуют модель сети связи, в которой выходящий поток одного узла является входящим для другого. В случае разнотипных заявок после обслуживания на определенном узле заявки разных типов уходят по своим маршрутам. Поэтому результаты исследования выходящих потоков систем массового обслуживания широко применимы для проектирования реальных систем передачи данных и анализа сложных процессов, состоящих из нескольких этапов.

В данной работе для исследования системы используется метод асимптотического анализа для нахождения вида предельного двумерного распределения числа обслуженных заявок входящего потока и числа обслуженных вызываемых заявок за некоторое время t при условии большой задержки заявок на орбите [4].

Математическая модель

Рассмотрим систему массового обслуживания с одним обслуживающим прибором, на вход которого поступает простейший поток заявок с интенсивностью λ . Заявка входящего потока, поступая в систему и

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-01-00277.

обнаруживая прибор свободным, занимает его, где обслуживается экспоненциально распределенное случайное время с параметром μ_1 . Если же при поступлении в систему заявка входящего потока обнаруживает прибор занятым, она мгновенно уходит на орбиту и осуществляет там случайную задержку в течение экспоненциально распределенного времени с параметром σ , после чего вновь обращается к прибору. В свободное от обслуживания заявок из входящего потока время прибор сам вызывает заявки другого типа с интенсивностью α и обслуживает их в течение экспоненциально-распределенного времени с параметром μ_2 .

Введем следующие обозначения: $i(t)$ – количество заявок на орбите в момент времени t , $k(t)$ – состояние прибора в момент времени t : 0 – прибор свободен, 1 – прибор занят обслуживанием заявки с входящего потока, 2 – прибор занят обслуживанием вызываемой заявки; $m_1(t)$ – количество обслуженных заявок из входящего потока к моменту времени t , $m_2(t)$ – количество обслуженных заявок, вызванных прибором, к моменту времени t .

Система дифференциальных уравнений Колмогорова

Рассмотрим четырехмерный марковский процесс:

$$\{k(t), i(t), m_1(t), m_2(t)\}.$$

Для вероятностей $P\{k(t) = k, i(t) = i, m_1(t) = m_1, m_2(t) = m_2\} = P_k(i, m_1, m_2, t)$ составим систему дифференциальных уравнений Колмогорова

$$\begin{aligned} \frac{\partial P_0(i, m_1, m_2, t)}{\partial t} &= -(\lambda + i\sigma + \alpha)P_0(i, m_1, m_2, t) + \\ &+ P_1(i, m_1 - 1, m_2, t)\mu_1 + P_2(i, m_1, m_2 - 1, t)\mu_2, \\ \frac{\partial P_1(i, m_1, m_2, t)}{\partial t} &= -(\lambda + \mu_1)P_1(i, m_1, m_2, t) + (i + 1)\sigma P_0(i + 1, m_1, m_2, t) + \\ &+ \lambda P_0(i, m_1, m_2, t) + \lambda P_1(i - 1, m_1, m_2, t), \end{aligned} \quad (1)$$

$$\frac{\partial P_2(i, m_1, m_2, t)}{\partial t} = -(\lambda + \mu_2)P_2(i, m_1, m_2, t) + \lambda P_2(i - 1, m_1, m_2, t) + \alpha P_0(i, m_1, m_2, t).$$

Решить данную систему аналитически не получится, так как это система бесконечного числа дифференциальных конечно-разностных уравнений с переменными коэффициентами.

Для того чтобы перейти к конечному числу уравнений, введем частичные характеристические функции, обозначив $j = \sqrt{-1}$,

$$H_k(u, u_1, u_2, t) = \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{m_1=0}^{\infty} \sum_{m_2=0}^{\infty} e^{ju_i} e^{ju_1 m_1} e^{ju_2 m_2} P_k(i, m_1, m_2, t).$$

Тогда перепишем систему (1) в виде

$$\begin{aligned} \frac{\partial H_0(u, u_1, u_2, t)}{\partial t} &= -(\lambda + \alpha)H_0(u, u_1, u_2, t) + j\sigma \frac{\partial H_0(u, u_1, u_2, t)}{\partial u} + \\ &+ \mu_1 e^{ju_1} H_1(u, u_1, u_2, t) + \mu_2 e^{ju_2} H_2(u, u_1, u_2, t), \\ \frac{\partial H_1(u, u_1, u_2, t)}{\partial t} &= -(\lambda + \mu_1)H_1(u, u_1, u_2, t) - \sigma j e^{-ju} \frac{\partial H_0(u, u_1, u_2, t)}{\partial u} + \\ &+ \lambda H_0(u, u_1, u_2, t) + \lambda e^{ju} H_1(u, u_1, u_2, t), \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{\partial H_2(u, u_1, u_2, t)}{\partial t} = -(\lambda + \mu_2)H_2(u, u_1, u_2, t) + \lambda e^{ju} H_2(u, u_1, u_2, t) + \alpha H_0(u, u_1, u_2, t).$$

Асимптотический анализ

Полученную систему дифференциальных уравнений в частных производных (2) будем решать методом асимптотического анализа в предельном условии большой задержки заявок на орбите ($\sigma \rightarrow 0$).

Обозначим $\varepsilon = \sigma, u = \varepsilon w, F_k(w, u_1, u_2, t, \varepsilon) = H_k(u, u_1, u_2, t)$, тогда система запишется в виде

$$\begin{aligned} \frac{\partial F_0(w, u_1, u_2, t, \varepsilon)}{\partial t} &= -(\lambda + \alpha)F_0(w, u_1, u_2, t, \varepsilon) + j \frac{\partial F_0(w, u_1, u_2, t, \varepsilon)}{\partial w} + \\ &+ \mu_1 e^{ju_1} F_1(w, u_1, u_2, t, \varepsilon) + \mu_2 e^{ju_2} F_2(w, u_1, u_2, t, \varepsilon), \\ \frac{\partial F_1(w, u_1, u_2, t, \varepsilon)}{\partial t} &= -(\lambda + \mu_1)F_1(w, u_1, u_2, t, \varepsilon) - j e^{-j\varepsilon w} \frac{\partial F_0(w, u_1, u_2, t, \varepsilon)}{\partial w} + \\ &+ \lambda F_0(w, u_1, u_2, t, \varepsilon) + \lambda e^{j\varepsilon w} F_1(w, u_1, u_2, t, \varepsilon), \\ \frac{\partial F_2(w, u_1, u_2, t, \varepsilon)}{\partial t} &= -(\lambda + \mu_2)F_2(w, u_1, u_2, t, \varepsilon) + \lambda e^{j\varepsilon w} F_2(w, u_1, u_2, t, \varepsilon) + \\ &+ \alpha F_0(w, u_1, u_2, t, \varepsilon). \end{aligned} \quad (3)$$

Заметим, что, используя условие согласованности для многомерных распределений, характеристическая функция процессов $m_1(t)$ и $m_2(t)$ выражается следующим образом через введенные функции

$$M\{\exp(ju_1 m_1(t)) \exp(ju_2 m_2(t))\} = \sum_{k=0}^2 H_k(0, u_1, u_2, t) = \sum_{k=0}^2 F_k(0, u_1, u_2, t, \varepsilon).$$

Теорема. Асимптотическое приближение двумерной характеристической функции числа обслуженных заявок входящего потока и числа обслуженных вызываемых заявок за некоторое время t имеет вид

$$\begin{aligned} \mathbf{F}(u_1, u_2, t) &= \lim_{\sigma \rightarrow 0} M\{\exp(ju_1 m_1(t)) \exp(ju_2 m_2(t))\} = \\ &= \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \sum_{k=0}^2 F_k(0, u_1, u_2, t, \varepsilon) = \mathbf{R} \cdot \exp\{\mathbf{G}(u_1, u_2)t\} \cdot \mathbf{E}, \end{aligned} \quad (4)$$

где

$$\mathbf{G}(u_1, u_2) = \begin{pmatrix} -(\lambda + \alpha + \kappa) & \mu_1 e^{ju_1} & \mu_2 e^{ju_2} \\ \kappa + \lambda & -\mu_1 & 0 \\ \alpha & 0 & -\mu_2 \end{pmatrix}^T,$$

вектор-строка $\mathbf{R} = \{R_0, R_1, R_2\}$ – стационарное распределение вероятностей состояния прибора [5],

$$\mathbf{R} = \left\{ \frac{\mu_2(\mu_1 - \lambda)}{\mu_1(\mu_2 + \alpha)}, \frac{\lambda}{\mu_1}, \frac{\alpha(\mu_1 - \lambda)}{\mu_1(\mu_2 + \alpha)} \right\},$$

κ – нормированное среднее значение числа заявок на орбите [5]

$$\kappa = \frac{\lambda(\lambda\mu_2 + \alpha\mu_1)}{\mu_2(\mu_1 - \lambda)},$$

а \mathbf{E} – единичный вектор-столбец соответствующей размерности.

Данная формула позволяет найти асимптотическое приближение характеристической функции числа заявок из входящего потока, обслуженных системой за некоторое время t .

Переход к распределению вероятности числа обслуженных заявок

Характеристическая функция (4) полностью описывает процессы $m_1(t)$ и $m_2(t)$, однако для проведения вычислений необходимо получение из нее распределения вероятности.

Для обращения функции применим обратное преобразование Фурье для дискретных случайных величин:

$$P(m_1, m_2, t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} e^{-i u_1 m_1} e^{-i u_2 m_2} \mathbf{F}(u_1, u_2, t) du_1 du_2.$$

Полученное распределение характеризует вероятность обслуживания m_1 заявок из входящего потока и m_2 заявок, вызванных прибором, к моменту времени t в рассматриваемой системе.

Коэффициент корреляции

Полученное асимптотическое приближение характеристической функции (4) позволяет нам подробнее изучить выходящие потоки рассматриваемой системы, а именно – найти корреляционную зависимость случайных процессов $m_1(t)$ и $m_2(t)$.

Рассмотрим нахождение коэффициента корреляции, который будет зависеть от параметра t :

$$r(t) = \frac{\text{cov}(m_1(t), m_2(t))}{\sqrt{D(m_1(t))} \sqrt{D(m_2(t))}}.$$

Воспользуемся свойством характеристической функции о существовании ее n -й производной, соответствующей n -му начальному моменту случайной величины. Тогда ковариация и дисперсия будут вычисляться следующим образом:

$$\begin{aligned} \text{cov}(t) &= M_{u_1 u_2}(t) - M_{u_1}(t) M_{u_2}(t) = \\ &= \frac{1}{j^2} \frac{\partial^2}{\partial u_1 \partial u_2} \mathbf{F}(u_1, u_2, t) \Big|_{u_2=0} - \frac{1}{j^2} \frac{\partial}{\partial u_1} \mathbf{F}(u_1, u_2, t) \Big|_{u_2=0} \frac{\partial}{\partial u_2} \mathbf{F}(u_1, u_2, t) \Big|_{u_2=0}, \\ D_{u_1}(t) &= M_{u_1}^2(t) - (M_{u_1}(t))^2 = \\ &= \frac{1}{j^2} \frac{\partial^2}{\partial u_1^2} \mathbf{F}(u_1, u_2, t) \Big|_{u_2=0} - \left(\frac{1}{j} \frac{\partial}{\partial u_1} \mathbf{F}(u_1, u_2, t) \Big|_{u_2=0} \right)^2, \\ D_{u_2}(t) &= M_{u_2}^2(t) - (M_{u_2}(t))^2 = \\ &= \frac{1}{j^2} \frac{\partial^2}{\partial u_2^2} \mathbf{F}(u_1, u_2, t) \Big|_{u_2=0} - \left(\frac{1}{j} \frac{\partial}{\partial u_2} \mathbf{F}(u_1, u_2, t) \Big|_{u_2=0} \right)^2. \end{aligned}$$

Полученные формулы позволяют численно исследовать поведение системы при разных параметрах.

Численный пример

Приведем результаты численного примера, показывающие, как изменяется корреляционная зависимость случайных процессов $m_1(t)$ и $m_2(t)$ при разных параметрах системы:

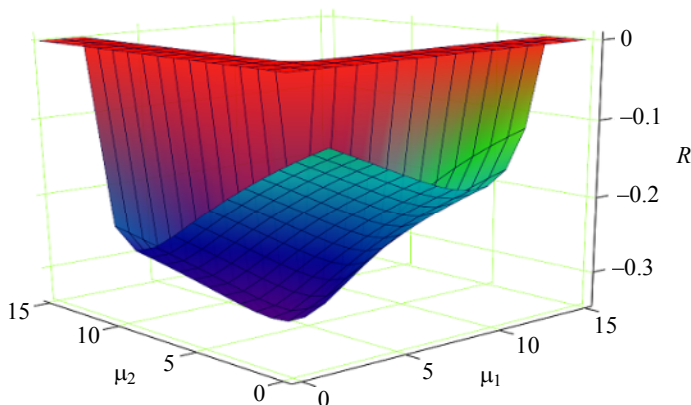


Рис 1. Изменение коэффициента корреляции процессов $m_1(t)$ и $m_2(t)$ в зависимости от параметров μ_1 и μ_2

Параметры системы: $\lambda = 1, \alpha = 3, t = 150, \mu_1 \in [0, 15], \mu_2 \in [0, 15]$. При заданных параметрах системы видно, что наибольшее абсолютное значение коэффициента корреляции процессов $m_1(t)$ и $m_2(t)$ достигается при $\mu_1 = 4, \mu_2 = 5$.

Заключение

Таким образом, в работе получена формула для нахождения асимптотического приближения двумерной характеристической функции числа заявок из входящего потока, закончивших обслуживание в марковской системе массового обслуживания с повторными вызовами и вызываемыми заявками в условии большой задержки заявок на орбите. Был проведен численный эксперимент, показывающий корреляционную зависимость случайных процессов $m_1(t)$ и $m_2(t)$. Также, было показано, что с помощью обратного преобразования Фурье возможно вычисление значений распределения вероятностей по найденному асимптотическому приближению характеристической функции процессов $m_1(t)$ и $m_2(t)$.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Kendall D.G.* Stochastic processes occurring in the theory of queues and their analysis by the method of the imbedded Markov chain // *The Annals of Mathematical Statistics*. 1953. С. 338–354.
2. *Artalejo J.R., Gomez-Corral A.* Retrial Queueing Systems: A Computational Approach. Berlin; Heidelberg: Springer, 2008.
3. *Kulkarni V.G.* On queueing systems by retrials // *Journal of Applied Probability*. 1983. V. 20. No. 2. P. 380–389
4. *Nawel Gharbi, Claude Dutheillet.* An algorithmic approach for analysis of finite-source retrial systems with unreliable servers // *Computers & Mathematics with Applications*. V. 62. Iss. 6. 2011. P. 2535–2546
5. *Nazarov A., Paul S., Gudkova I.* Asymptotic analysis of markovian retrial queue with two-way communication under low rate of retrial condition // *Proceedings 31st European Conference on Modelling and Simulation, ECMS 2017*. Budapest, 2017. P. 687–693.
6. *Burke P.J.* The output process of a stationary M/M/s queueing system // *The Annals of Mathematical Statistics*. 1968. T. 39. № 4. С. 1144–1152.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРИЯ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

QUEUING THEORY AND APPLICATION

<i>Yves Adou, Ekaterina Markova.</i> To queueing system model performance measures analysis under network slicing.....	5
<i>Kirill Ageev, Eduard Sopin.</i> Analysis of the simplified network slicing model	11
<i>Anilkumar M.P., K.P. Jose.</i> An eigen value approach to a discrete-time queueing model with N -policy on two modes of service.....	17
<i>P. Beena, K.P. Jose.</i> A MAP/PH(1), PH(2)/2 inventory system with production, multiple servers and vacations.....	24
<i>Anastasia Daraseliya, Eduard Sopin.</i> Optimization of task offloading thresholds in the fog computing system	31
<i>Dhanya Babu, Varghese. C. Joshua, Achyutha Krishnamoorthy.</i> A queueing system with probabilistic joining strategy for priority customers	37
<i>Elmira Kalimulina.</i> On convergence of queueing network with changing structure to stationary distribution.....	43
<i>Maksim Korshikov, Eduard Sopin.</i> Analysis of the processor sharing systems with random serving rate coefficients	46
<i>Achyutha Krishnamoorthy, Varghese C. Joshua, Ambily P. Mathew.</i> A reliability problem with Interdependent Lifetimes	52
<i>Eugene Lebedev, Vadim Ponomarov, Oksana Pryshchepa.</i> The exact formulas for state-dependent Markov retrial queues	58
<i>Eugene Lebedev, Hanna Livinska.</i> Gaussian approximation and reducing of dimension for a general-type multichannel network	64
<i>Khamis Abdullah Khamis AL Maqballi, Varghese C. Joshua, Achyutha Krishnamoorthy.</i> On A single server queueing inventory system with common life time for inventoried items	70
<i>Agassi Melikov¹, V. Divya, Sevinc Aliyeva.</i> Analyses of feedback queue with positive server setup time and impatient calls.....	77
<i>Faina Moskaleva, Ekaterina Lisovskaya, Yuliya Gaidamaka.</i> A two-class service system for performance analysis of network slicing with QoS Isolation	82

<i>Anatoly Nazarov, Tuan Phung-Duc, Yana Izmailova. Asymptotic-diffusion analysis of multiserver retrial queueing system with priority customers.....</i>	88
<i>Anatoly Nazarov, Tuan Phung-Duc, Svetlana Paul, Olga Lizyura, Ksenia Shulgina. Asymptotic analysis of Markovian retrial queue with unreliable server and two-way communication under low rate of retrials condition</i>	99
<i>Anatoly Nazarov, Maria Samorodova. Asymptotic waiting time analysis of a M/M/1 retrial queueing system</i>	105
<i>Hamza Nemouchi, Mohamed Hedi Zaghouni, János Sztrik. Simulation analysis in cognitive radio networks with unreliability and abandonment.....</i>	110
<i>Nisha Mathew, Varghese Joshua, Achyutha Krishnamoorthy. On a MMAP/(PH,PH)/1/(∞,N) queueing-inventory system.....</i>	115
<i>K.R. Ranjith, Achyutha Krishnamoorthy, B. Gopakumar. Analysis of a PH/PH/1 queue with interdependence.....</i>	122
<i>Stepan Rogozin, Evsey Morozov. Stability condition of a modified Erlang loss system with different service rates</i>	126
<i>Sandhya E., C. Sreenivasan, Sajeev S. Nair. An explicit solution for an inventory model with positive lead time and backlogs.....</i>	131
<i>Smija Skaria, Sajeev S. Nair. Transient analysis of an inventory model with instantaneous replenishment and catastrophes</i>	138
<i>János Sztrik, Ádám Tóth, Elena Danilyuk, Svetlana Moiseeva. Simulation of retrial queueing system M/G/1 with impatient customers, collisions and unreliable server</i>	145
<i>János Sztrik, Ádám Tóth. Some special features of finite-source retrial queues with collisions, an unreliable server and impatient customers in the orbit</i>	152
<i>Алексей Благинин, Иван Лапатин, Анатолий Назаров. Исследование двумерного выходящего потока марковской модели узла обработки запросов с повторными обращениями и вызываемыми заявками</i>	159
<i>Анна Бояркина, Светлана Моисеева, Ирина Туренова, Алексей Шкуркин. СМО вида $GI^{(k)}/GI/\infty$ с групповым обслуживанием.....</i>	166
<i>Татьяна Бушкова, Анастасия Галилейская Екатерина Лисовская, Светлана Моисеева. Асимптотический анализ ресурсной гетерогенной СМО $(MMPP+2M)^{(v)}/M/\infty$</i>	172
<i>Константин Вытовтов, Елизавета Барабанова, Владимир Вишневецкий. Аналитический метод анализа случайных процессов с</i>	

непрерывным временем и дискретными состояниями при времязависимых вероятностях переходов.....	178
<i>Максим Жарков, Михаил Пavidис.</i> Об использовании четырех- фазных систем массового обслуживания для описания работы грузовых и сортировочных железнодорожных станций.....	184
<i>Владимир Задорожный, Татьяна Захаренкова.</i> Метод бесконеч- ных разметок в системах с неизвестным временем обслужива- ния поступающих заявок	188
<i>Владимир Задорожный, Микеле Пагано, Татьяна Захаренкова.</i> Применение метода бесконечных разметок к сетям с коммута- цией пакетов.....	194
<i>Андрей Зорин, Ксения Сизова.</i> Метод решения стационарных уравнений для процесса приоритетного обслуживания с раз- делением времени в случайной среде.....	200
<i>Валентина Клименок, Александр Дудин, Иван Ванькович.</i> Стацио- нарные характеристики системы массового обслуживания с повторными вызовами и поиском на орбите	205
<i>Дмитрий Копать, Михаил Матальцкий.</i> Анализ ожидаемого до- хода в открытой сети с ограниченным числом заявок и обхо- дами ими систем обслуживания.....	211
<i>Анатолий Назаров, Екатерина Павлова.</i> Исследование СМО вида ММРР М N с обратной связью методом асимптотически диф- фузионного анализа.....	217
<i>Анатолий Назаров, Светлана Рожкова, Екатерина Титаренко.</i> Исследование системы с обратной связью, рекуррентным об- служиванием и неординарным пуассоновским входящим по- током.....	223
<i>Анна Полховская, Ольга Бобкова, Светлана Моисеева.</i> Ресурсная RQ-система с коллизиями.....	228
<i>Павел Приступа, Павел Михеев, Сергей Суценко.</i> Прямая кор- рекция ошибок на внутрисегментном уровне транспортного протокола.....	232
<i>Екатерина Пройдакова, Виктория Санникова.</i> Математическое моделирование и исследование приоритетной управляющей системы с непостоянной интенсивностью обслуживания тре- бований	238
<i>Светлана Рожкова, Наталья Воронина, Александра Семашко.</i> Исследование RQ-системы M/M/1 с ненадежным прибором асимптотическим и матричным методами	244

<i>Елена Станкевич, Игорь Тананко.</i> Метод анализа замкнутых сетей массового обслуживания с системами типа $M_a/M^{[x,y]}/1$	251
<i>Елена Станкевич, Игорь Тананко.</i> Приближенный метод анализа замкнутых сетей массового обслуживания с ненадежными системами и групповым обслуживанием.....	255
<i>Гурами Цициашвили, Анатолий Назаров, Александр Мусеев.</i> Асимптотическая оценка интенсивности сборки пуассоновских потоков	258

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

INFORMATION TECHNOLOGIES AND SOFTWARE ENGINEERING

<i>Marat Gainutdinov, Aleksey Shkurkin, Anastasia Pichugina.</i> Development of back-end of the service for internationalization of web-applications.....	265
<i>Алексей Бабанов, Елена Квач.</i> «IS-A»-отношение, как способ представления взаимосвязи обобщенных и специализированных понятий.....	271
<i>Людмила Демиденко.</i> Проектирование базовой архитектуры модуля «Расписание» системы Alterum Med.....	278
<i>Игорь Жуков, Юрий Костюк.</i> Программная реализация заданий по программированию с многовариантными решениями.....	285
<i>Денис Змеев, Лидия Иванова, Руфина Рафикова.</i> О представлении прогресса проекта по разработке программного обеспечения в форме динамической байесовской сети	291
<i>Олег Змеев, Юлия Протасевич, Данила Соколов.</i> Поддержка настраиваемых типов проектов в системе автоматизации управления Git-репозиториями для использования в процессе обучения.....	298
<i>Татьяна Кетова, Евгения Соколова.</i> Формальная модель образовательной программы в области компьютерных наук с точки зрения международного стандарта АСМ и IEEE	303
<i>Яна Куликова, Дмитрий Качалов, Маис Паша Оглы Фархадов.</i> Сценарии управления беспилотными транспортными средствами в среде «Умного города».....	308
<i>Яна Лебедева, Вячеслав Вавилов.</i> Разработка системы автоматизации процессов обращения кассовой техники в банковской организации	314

<i>Евгений Полин, Александр Моисеев, Константин Войтиков.</i> Имитационное моделирование СМО с входящими потоками, параметры которых зависят от состояния системы.....	320
<i>Вадим Тренькаев.</i> Обзор исследований по проблеме достижения высокой производительности протокола OPC UA.....	324

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELLING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

<i>Mary Michel Begre, Warren Kassy Dougg Feussi, Shakhmurad Kanzitdinov, Sergey Vasilyev.</i> Stability analysis and motion of the Kapitsa pendulum.....	330
<i>Mohamed Adel Bouatta, Irina Kolosova, Evgeniya Korshok, Darya Vasilyeva.</i> Kadshevsky equation numerical analysis with periodic boundary conditions on adaptive grids.....	336
<i>Jozil Takhirov.</i> A reaction-diffusion-advection competition model with a free boundary.....	339
<i>Sergey Pichugin.</i> Problem definition for LEO system switching technique development.....	345
<i>Анжела Абдразакова, Татьяна Булгакова, Антон Войтишек.</i> Об особенностях выбора ортонормированных систем функций в рандомизированных численных проекционных функциональ- ных алгоритмах.....	350
<i>Даниэль Перес Акоста, Сергей Васильев, Шахмурад Канзитди- нов, Игорь Левичев.</i> Построение решений задач оптимального управления динамическими системами в бесконечномерных пространствах с малым параметром.....	356
<i>Антон Войтишек, Ярослав Поставалов, Данил Черкашин.</i> Систе- ма численного моделирования одномерных случайных вели- чин NMPUD: формирование банка плотностей, автоматизация математических выкладок и приложения.....	363
<i>Мохамед Адель Буатта, Сергей Васильев, Вячеслав Федорченко.</i> Численный анализ на адаптивных сетках многомерного урав- нения Фоккера – Планка с малым параметром.....	369
<i>Никита Беляков, Рустам Бикмурзин, Дмитрий Федченко.</i> Об ис- пользовании конечных автоматов при моделировании наност- руктур.....	373

<i>Ирина Гендрина.</i> Использование метода фиктивных переменных для исследования пространственной характеристики систем видения через атмосферу.....	377
<i>Антон Есин.</i> Исследование принципов применения моделей многозначной логики в современных приложениях	383
<i>Антон Есин.</i> Теоретические аспекты построения современных систем управления на базе многозначной логики.....	389
<i>Вячеслав Кувыкин, Максим Брюханов.</i> Математическое и компьютерное моделирование системы согласования материального баланса в нефтепереработке и нефтехимии.....	394
<i>Вячеслав Кувыкин, Артем Колпаков, Елена Колпакова.</i> Параметрический анализ математических моделей оптимального планирования нефтепереработки и компьютерное моделирование.....	398
<i>Ольга Кузоватова.</i> Компьютерное моделирование локализации деформации сыпучей среды в сходящемся канале	403
<i>Мария Шкленник, Александр Мусеев.</i> Реализация механизма сбора и обработки статистических данных потоков заявок в системе имитационного моделирования ODIS.....	409

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

INTELLIGENT DATA ANALYSIS AND VISUALIZATION

<i>Alyona Borisovskaya.</i> Methods of spelling correction in information retrieval systems	414
<i>Ivan Brokarev, Mais Farkhadov, Sergey Vaskovskii.</i> Recurrent neural networks to analyze the quality of natural gas	419
<i>Ivan Brokarev, Sergey Vaskovskii.</i> Analysis of reliability of gas analysis system based on vector Wiener process	423
<i>Victoria Shamraeva.</i> Analysis of business processes of construction and operation of highways on a toll basis using BIM tools.....	429
<i>Ирина Баранова.</i> Применение метода двудольных множеств событий в задачах регрессионного анализа многомерных разнотипных данных	441
<i>Инна Батраева, Александра Крючкова.</i> Алгоритм репрезентации кастомизированных диалектологических корпусов для Саратовского диалектологического корпуса русского языка	447
<i>Светлана Гагарина, Юрий Гагарин.</i> Прогнозирование частных показателей индекса активного долголетия	450

<i>Степан Гилин. Решение задачи распознавания образов при помощи алгоритма гибридной СММ-нейросети</i>	454
<i>Валерий Гольшев, Дарья Семенова. Нечёткий анализ формальных понятий: метод α-сечения.....</i>	462
<i>Эллада Ибрагимова, Дарья Семенова. Распознавание k-кластеризуемости знаковых графов.....</i>	468
<i>Анна Ивлева, Сергей Смирнов. Первичный концептуальный анализ сестринского дела для экспертной советующей системы.....</i>	473
<i>Александр Солдатенко, Дарья Семенова. Алгоритм HGFC нахождения формальных понятий.....</i>	478
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	483

Научное издание

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
(ИТММ-2020)**

**МАТЕРИАЛЫ
XIX Международной конференции
имени А. Ф. Терпугова
2–5 декабря 2020 г.**

Редактор *Т.С. Портнова*
Дизайн, верстка *Д.В. Фортеса*

ООО «Издательство научно-технической литературы»
634034, г. Томск, ул. Студенческая, 4, тел. (3822) 53-10-35

Изд. лиц. ИД № 04000 от 12.02.2001. Подписано к печати 24.02.2021.
Формат 60 × 84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «Таймс».
Усл. п. л. 28.95. Уч.-изд. л. 32.42. Тираж 100 экз. Заказ № 4.
